



15 Wirkung der Ökomassnahmen auf die Phosphorausträge aus der schweizerischen Landwirtschaft

Felix Herzog, Walter Richner, Ernst Spiess und Volker Prasuhn

Die Phosphoremessionen aus der schweizerischen Landwirtschaft sind zurückgegangen, doch werden die für 2005 gesetzten Umweltziele des Bundes nur teilweise erreicht. Der nationale Phosphor (P)-Bilanzüberschuss hat stark abgenommen und der Zielwert des Bundes wird seit 1996 unterschritten. Es besteht jedoch nach wie vor ein jährlicher Überschuss von 6'000 t P. Die diffusen P-Austräge aus der schweizerischen Landwirtschaft in die Gewässer haben seit 1990–92 um 10 % bis maximal 30 % abgenommen und nicht wie angestrebt um 50 %. In Problemregionen um stark belastete Mittellandseen stammt ein beträchtlicher Anteil der P-Belastung der Seen direkt aus den stark mit Phosphor aufgedüngten Böden. Daher zeigt die verbesserte landwirtschaftliche Praxis nur eine zeitlich stark verzögerte Wirkung. Um den P-Bilanzüberschuss weiter zu reduzieren, müssen die Anforderungen des ökologischen Leistungsnachweises (ÖLN) im Bereich des P-Einsatzes erhöht werden. In Problemgebieten sind zusätzliche Massnahmen zur Abreicherung der mit Phosphor übersorgten Böden notwendig.

Zielerreichung

Das Bundesamt für Landwirtschaft und der Bund haben Ziele formuliert, die mit den Ökomassnahmen bzw. dem ökologischen Leistungsnachweis (ÖLN, Bundesrat 1998a) bis 2005 zu erreichen sind (BLW 1999, Bundesblatt 2002), sie sind in der Einleitung zusammengestellt (Kapitel 1, Tab. 1).

Nationale Phosphorbilanz

Felix Herzog,
Walter Richner,
Ernst Spiess und
Volker Prasuhn,
Agroscope
FAL Reckenholz,
Reckenholzstr. 191,
CH-8046 Zürich

Das Ziel, den P-Überschuss der nationalen landwirtschaftlichen Input/Outputbilanz bis 2005 um 50 % auf 9'400 t P pro Jahr zu beschränken (Bundesblatt 2002), wurde bereits 1996 erreicht. 2002 betrug der Überschuss noch 6'000 t P, das entspricht einer Reduktion von 65 % im Vergleich zu der Referenzperiode 1990–92 (Kapitel 11, Abb. 4). Der Rückgang setzte bereits 1980 ein, er ist in erster Linie auf die Abnahme von Mineraldüngereinsatz und Futtermittelimporten zurückzuführen (Kapitel 11, Abb. 2).

Qualität der Oberflächengewässer

Die Qualität der Oberflächengewässer bezüglich Phosphor hat sich in den letzten Jahrzehnten – insbesondere in den grossen Seen – deutlich verbessert, die Gehalte an gelöstem, eutrophierungswirksamem Phosphor sind seit den 1980er Jahren stetig zurück gegangen (Kapitel 12, Abb. 1–6). Diese Entwicklung ist in erster Linie dem Anschluss eines grossen Teils der Haushalte und der Industrie an Kläranlagen, ihrer gesteigerten Effizienz bei der P-Elimination und dem Verbot von phosphathaltigen Waschmitteln zu verdanken. Welchen Anteil die Landwirtschaft an dieser positiven Entwicklung hatte und bis zu welchem Grad das Ziel, die durch die Landwirtschaft verursachte P-Belastung der Oberflächengewässer im Vergleich zu 1990–92 bis 2005 um 50 % zu reduzieren, erreicht wurde, ist schwierig zu beurteilen. Aufgrund der Messungen im Gewässer kann der landwirtschaftlich bedingte Anteil der P-Belastung nicht von den übrigen Quellen (natürliche Hintergrundlast, punktuelle Quellen) getrennt werden. Trotz der erfreulichen Entwicklung des Zustands der grossen Seen bezüglich Phosphor sind die Eutrophierungsprobleme der durch hohe Dichte von landwirtschaftlichen Nutztieren im Einzugsgebiet stark belasteten Mittellandseen nicht gelöst. Im Einzugsgebiet des Sempachersees beobachteten wir deutliche Anstrengungen und Verbesserungen bei der Fütterung (Futter mit reduziertem P-Gehalt) und Gülleausbringung (Kapitel 13, Tab. 1) und auch eine leichte Verbesserung der Wasserqualität (Kapitel 12, Abb. 2). In der von uns untersuchten Fallstudienregion Lippenrütibach ist jedoch der Oberboden so stark mit Phosphor angereichert, dass bei Niederschlägen immer Phosphor gelöst und abgeschwemmt werden kann, falls die Niederschläge stark genug sind (Kapitel 13, Tab. 2, Abb. 3). Die verbesserte landwirtschaftliche Praxis schlägt unter diesen Umständen nicht – oder erst mit starker zeitlicher Verzögerung – auf die abgeschwemmte P-Menge durch.

Bezüglich Erosion und Gewässerbelastung fehlen bis jetzt die Grundlagen für eine Beurteilung auf nationaler Basis. In der untersuchten Fallstudienregion Frienisberg schätzen wir den Rückgang der Erosion – und damit des Eintrags von partikular gebundenem Phosphor – auf ca. 15 bis maximal 25 % (Kapitel 14).

Beim Versuch, die Reduktion der diffusen Phosphorverluste aus der Landwirtschaft zu quantifizieren, muss berücksichtigt werden, dass beide Fallstudiengebiete überdurchschnittliche P-Belastungen aufweisen und zusätzliche Massnahmen implementiert wurden. In Gebieten mit geringen P-Belastungen ist mit geringeren Reduktionen zu rechnen, entsprechend hätte der Rückgang in den belasteten Gebieten deutlich überproportional ausfallen müssen um im nationalen Mittel eine 50 %-ige Reduktion zu erzielen. In Gebieten, deren Böden mit Phosphor angereichert sind und in denen der überwiegende Teil der P-Verluste aus der Abschwemmung und aus Drainagen stammt, muss – ähnlich wie beim Stickstoff – auch beim Phosphor von einer zeitlichen Verzögerung der Wirkung von Massnahmen in der Grössenordnung von mehr als zehn Jahren ausgegangen werden.

Aufgrund der Ergebnisse aus den Fallstudiengebieten (Kapitel 13, 14) und von Modellrechnungen (Kapitel 12) und unter Berücksichtigung der oben gemachten Einschränkungen schätzen wir, dass die Reduktion der diffusen P-Verluste aus der Landwirtschaft seit 1990–92 10 % bis maximal 30 % betrug. Damit wird die geforderte Reduktion um 50 % bis 2005 nicht erreicht werden.

Beitrag der einzelnen Ökomassnahmen

Die Abnahme der P-Austräge aus der Landwirtschaft von 10 % bis maximal 30 % ist nicht ausschliesslich auf die Ökomassnahmen bzw. den ÖLN zurück zu führen, vielmehr gibt es eine Reihe von weiteren Einflussfaktoren. Die Wirkung der einzelnen Massnahmen und Einflussfaktoren auseinander zu halten ist schwierig. Der wichtigste Einflussfaktor ist die Witterung – die Menge und Verteilung der jährlichen Niederschläge – sie überlagert alle

anderen Grössen. Nur langjährige Messreihen (10 Jahre und mehr) können Aufschluss über die Bedeutung der einzelnen Faktoren bringen. Die hier gemachten Aussagen sind erste Annäherungen.

Ausgewogene Nährstoffbilanz

Wie auch beim Stickstoff beurteilen wir die Anforderung einer ausgeglichenen betrieblichen Nährstoffbilanz als zentral für die Reduktion des P-Überschusses. Im Fallstudiengebiet Lippenrütibach wurde ein P-Überschuss von ca. 50 % in den 10 Jahren seit 1990–92 vollständig abgebaut (Kapitel 13, Tab. 1); allerdings handelt es sich dabei nicht um ein für die Schweiz repräsentatives, sondern um ein stark belastetes Gebiet. Der Abbau wurde weniger durch eine Reduktion der Tierbestände als vielmehr durch den Einsatz von Ökofutter mit reduziertem P-Gehalt und P-Wegfuhr über Hofdüngerabnahmeverträge erreicht.

Geeigneter Bodenschutz

Ganzjährige Bodenbedeckung schützt den Boden vor Erosion und damit die Gewässer vor dem Eintrag von partikular gebundenem Phosphor. Im Fallstudiengebiet Frienisberg schätzen wir, dass die Anforderung einer minimal einzuhaltenden Bodenbedeckung während des Winters (Bodenschutzindex) zusammen mit den kantonalen Massnahmen zur Förderung von konservierenden Bodenbearbeitungsverfahren die Erosion um bis zu 30 % reduziert hat (Kapitel 14).

Weitere ÖLN-Vorschriften und Ökomassnahmen

Die Anforderung an die geregelte Fruchtfolge hat einen – allerdings vergleichsweise geringeren – positiven Effekt auf den Bodenschutz und damit auf die P-Austräge durch Erosion. Ökologische Ausgleichsflächen werden nur in Einzelfällen gezielt angrenzend an Oberflächen Gewässer angelegt (Herzog *et al.* 2005), so dass sie nur selten als Pufferstreifen wirken. Die Flächen selber dürfen nicht mehr oder nur noch wenig gedüngt werden, dadurch kann eine gewisse Reduktion der P-Belastung resultieren. Der Effekt der tiergerechten Haltung der Nutztiere auf die P-Austräge wurde nicht explizit untersucht; ihre Wirkung ist aber als gering einzuschätzen.

Ebenfalls nicht evaluiert wurde der Einfluss des biologischen Landbaus (110'134 ha in 2003, BLW 2004) und der extensiven Produktion von Getreide und Raps (EXTENSO, 78'425 ha in 2003, BLW 2004). Wir vermuten, dass EXTENSO keinen Einfluss auf die P-Verluste hat. Der Einfluss des biologischen Landbaus auf die Höhe der P-Verluste durch Erosion und Abschwemmung ist weitgehend ungeklärt. Gemäss Literaturrecherchen von Auerswald *et al.* (2003) gibt es auch weltweit kaum entsprechende Untersuchungen, nur in einer Studie wurde eine geringere Erosion bei biologischem Anbau nachgewiesen.

Andere Einflussfaktoren

Umweltgesetzgebung

1992 trat das revidierte Gewässerschutzgesetz (GschG) in Kraft. In den Artikeln 14, 27 und 51 werden Anforderungen an Hofdüngermanagement (Ausbringung, Lagerkapazität, Abnahmeverträge, Besatz an Grossvieheinheiten etc.), Bodenbewirtschaftung und Beratung formuliert (Bundesversammlung 1991). 1994 erschien eine neue Wegleitung für den Gewässerschutz (BLW/BUWAL 1994). Die Gewässerschutzverordnung von 1999 regelt u.a. ökologische Ziele der Gewässer, Anforderungen an die Wasserqualität und Anforderungen an Betriebe mit Nutztierhaltung (Bundesrat 1998b). Die Verordnung über Belastung des Bodens regelt u.a. den Erosionsschutz (Bundesrat 1998c). Die Einhaltung dieser Gesetze dürfte ebenfalls zu einer Verminderung der P-Belastung der Gewässer aus der Landwirtschaft geführt haben. Evaluiert und quantifiziert wurde ihr Einfluss jedoch bisher von keiner Seite.

Regionale Massnahmen

In beiden untersuchten Fallstudiengebieten (Lippenrütibach, Frienisberg) wurden zusätzliche Massnahmen zur Minderung der P-Abschwemmung (nach Art. 62a des Gewässerschutzgesetzes) bzw. zum Bodenschutz (kantonales Programm zur Förderung der konservierenden Bodenbearbeitung) durchgeführt. Diese Massnahmen setzten später ein als die Ökomassnahmen bzw. der ÖLN und haben ihre Wirkung in diesen Regionen verstärkt. Gesamtschweizerisch gibt es allerdings erst 3 Projekte nach Art. 62a GSchG (Baldegg-, Hallwiler-, und Sempachersee), um die P-Verluste durch Abschwemmung und Erosion zu vermindern. Freiwillige kantonale Programme zum Bodenschutz wurden in den Kantonen Aargau, Basel-Landschaft, Bern, Freiburg und Solothurn initiiert, wurden aber teilweise aufgrund mangelnder Finanzen wieder eingeschränkt oder ganz sistiert.

Kantonale Vorschriften zur Reduktion der P-Austräge, die über die Anforderungen des ÖLN hinausgehen, gibt es allein im Kanton Luzern (Kanton Luzern 2002). Wir gehen davon aus, dass sich diese Anstrengungen auf den Zustand der Gewässer auf nationaler Ebene noch kaum ausgewirkt haben dürfen.

Technischer Fortschritt, Beratung

Der gesamtschweizerisch zu beobachtende Trend zu bodenschonenden Bearbeitungsverfahren, ermöglicht durch technischen Fortschritt und ökonomische Vorteile, dürfte sich erosionsmindernd auswirken. In der ersten Hälfte der 90er-Jahre wurde für die Bestellung der Ackerkulturen noch mehrheitlich gepflügt (Hausheer *et al.* 1998). Seither haben pfluglose Anbausysteme und insbesondere auch Mulchsaaten stark an Bedeutung gewonnen. Thomas Anken (pers. Mittlg. 2004) schätzt, dass beim Weizen der Flächenanteil pflugloser Bestellsysteme heute ca. 30 % umfassen dürfte. Die Direktsaat als weitest reichende Form pflugloser Bestellung hat in der Schweiz von 60 ha im Jahr 1992 auf 11'761 ha im Jahr 2004 zugenommen (Swiss No-Till 2005). Die Anforderungen des ÖLN zum Bodenschutz haben sicherlich zu dieser erfreulichen Entwicklung beigetragen.

Ein weiterer Einflussfaktor ausserhalb der agrar-ökologischen Programme ist die Abnahme der Tierzahlen (von 1,43 auf 1,29 Mio. GVE zwischen 1990 und 2002, BLW 2004), die zu einer Abnahme des Anfalls an Hofdüngern und damit der geschätzten P-Ausbringung mit Hofdüngern führte (von 24'200 t P zu 21'000 t P). Die Abnahme der offenen Ackerfläche von 312'000 ha (1990–92) auf 284'000 ha (2003) bei insgesamt konstanter landwirtschaftlicher Nutzfläche (BLW 2004) hat die potenziell durch Erosion gefährdete Fläche reduziert.

Wir gehen davon aus, dass auch die Sensibilisierung der Landwirtinnen und Landwirte, die verbesserte Ausbildung und die Beratung sich positiv auf das P-Management auf den Betrieben auswirkt. Der ÖLN und insbesondere die Verpflichtung, ausgeglichene betriebliche Nährstoffbilanzen einzuhalten, dürften zu einem bewussteren Umgang mit Mineral- und Hofdüngern geführt haben. Quantifizieren können wir diesen Einfluss allerdings nicht.

Erkenntnisse aus anderen Projekten

In vier Untersuchungsgebieten des Kantons Freiburg haben Julien *et al.* (2002) festgestellt, dass die Richtlinien der ÖLN insgesamt von den Landwirten gut akzeptiert und damit auch respektiert wurden. An 15 Standorten wurden die P-Gehalte von Wasserproben aus Oberflächengewässern untersucht, sie blieben während der Untersuchungsperiode (1996–2001) stabil.

Für das Einzugsgebiet des Greifensees schätzen Prasuhn *et al.* (2004), dass 39 % der diffusen P-Einträge in den See auf Erosion zurückzuführen sind, gefolgt von Abschwemmung von gelöstem Phosphor (28 %), Drainageverlusten (11 %) und Auswaschung (10 %). Zusammen mit Einträgen aus punktuellen Quellen (Siedlungsentwässerung) und aus der natürlichen Hintergrundlast wird dadurch der See stark belastet. Massnahmen nach Art.

62a GSchG könnten die Einträge aus der Landwirtschaft um ein Drittel reduzieren. Szenarienrechnungen bis 2011 unter verschiedenen agrarpolitischen Voraussetzungen gehen alle in Richtung einer Extensivierung und sehen eine Abnahme der P-Einträge aus der landwirtschaftlichen Produktion von 20 – 25 % vor. Da jedoch der Anteil der Landwirtschaft an der P-Gesamtbelastung des Greifensees nur 35 % ausmacht, würden diese Reduktionen nicht ausreichen, um den Zielwert der P-Konzentration im See zu erreichen.

Ergebnisse von Modellrechnungen aus weiteren Regionen (Rhein, Bodensee, Kt. Bern) sowie Interpretationen von Messdatenreihen verschiedener Seen (Baldegger-, Sempacher-, Genfersee usw.) zeigen, dass es überall eine Reduktion der landwirtschaftlichen P-Einträge gab, dass aber die Zielgröße einer 50 %-igen Reduktion nirgends erreicht wurde (Kapitel 12).

Frossard *et al.* (2004) nehmen eine Standortbestimmung zum Thema Phosphor in den Böden der Schweiz vor. Gestützt auf Untersuchungen in Fallstudiengebieten sowie kantonale Bodenbeobachtungs- und Betriebsnetze kommen sie zu ähnlichen Schlussfolgerungen wie dieser Bericht. Sie weisen darauf hin, dass nur in wenigen Böden die Gehalte an pflanzenverfügbarem Phosphor so tief sind, dass der Ertrag der Kulturen beeinträchtigt werden könnte, vielmehr wies die Mehrzahl der untersuchten Böden einen erhöhten P-Sättigungsindex auf.

Ausblick und Empfehlungen

Bilanzsaldo

Das nationale Reduktionsziel wurde bezüglich landwirtschaftlicher P-Überschüsse erreicht und sogar übertroffen. Das darf aber nicht darüber hinwegtäuschen, dass jedes Jahr ein Überschuss von ca. 6'000 t P anfällt – dies obwohl die betrieblichen Nährstoffbilanzen eigentlich ausgeglichen sein sollten. Der überschüssige Phosphor reichert sich mehrheitlich in den Böden an und stellt eine potenzielle Gefährdung der Gewässer dar. Außerdem ist Phosphor eine beschränkte Ressource, mit der haushälterisch umgegangen werden muss.

Es gibt verschiedene mögliche Gründe dafür, dass die nationale P-Bilanz nicht ausgeglichen ist, während die Betriebesbilanzen es entsprechend der ÖLN-Vorschriften eigentlich sind. So wird die atmosphärische Deposition (350 t P pro Jahr) in den Betriebesbilanzen nicht berücksichtigt. Vom Umfang her sicher bedeutender sind die von Betriebsleitern kumulativ ausnutzbaren Toleranzen der «Suisse-Bilanz» (+10 % Toleranz des Bilanzsaldo, weitere Toleranzen bei Krippenverlusten und Grundfutterbilanz). Im weiteren muss berücksichtigt werden, dass bei der Suisse-Bilanz Richtwerte verwendet werden, die aus optimalen Produktionsverhältnissen abgeleitet worden sind, die in der Praxis häufig nicht erreicht werden. Eine weitere mögliche Ursache sind Mängel im Vollzug (s.u.).

Um die Diskrepanz zwischen nationaler Bilanz und betrieblichen Nährstoffbilanzen zu verkleinern, müssen diese Ursachen geprüft werden. Insbesondere müssen die Toleranzen in der «Suisse-Bilanz» überdacht werden. Es gilt zu verhindern, dass diese Toleranzen jedes Jahr voll ausgeschöpft werden, im Mittel mehrerer Jahre ist ein Bilanzsaldo von 100 % anzustreben.

Vollzug

Inwiefern die Einhaltung der ÖLN-Vorschriften durch einen verbesserten Vollzug (Beratung, Kontrolle) gesteigert werden kann, vermögen wir nicht zu beurteilen; diese Frage ist jedoch unbedingt zu prüfen. 2003 wurde die Einhaltung der Vorschriften des ÖLN auf zwei Dritteln aller angemeldeten Betriebe kontrolliert. In 12 % der Fälle wurden Verstöße festgestellt. Nach der Vollständigkeit und Korrektheit der Aufzeichnungen und nach Verstößen gegen die Anforderungen an die tiergerechte Haltung waren Verstöße gegen die ausgewogene Düngerbilanz am dritthäufigsten (BLW 2004). Die Effizienz des Düngereinsatzes kann weiter gesteigert werden durch verbesserte Beratung und die Erarbeitung von ein-

fachen Planungshilfen. Dabei müssen insbesondere weitere Fortschritte in der kulturen- und umweltgerechten Ausbringung von Hofdüngern angestrebt werden.

Bodenschutz

Der Stand der Bodenbedeckung im Winter, wie er mit dem Bodenschutzindex erreicht wurde, muss beibehalten werden. Sollte die seit 2004 geltende vereinfachte technische Regelung des Bodenschutzes im ÖLN (Bundesrat 1998a) wieder zu mehr Schwarzbrache sowie weniger Zwischenkulturen und Kunstwiesen im Winter führen und dadurch zu weniger Mulch- und Direktsaaten und vermehrter Bodenerosion, so müsste der Bodenschutzindex wieder eingeführt werden.

Regionale Massnahmen

In denjenigen Gewässern, die nach wie vor stark mit Phosphor belastet sind, sind diffuse Einträge aus der Landwirtschaft meist die wichtigste Ursache. Dort kann die Durchführung von zusätzlichen Projekten nach Art. 62a des GSchG eine Verbesserung bewirken. In diesen Projekten muss besonderes Gewicht auf die gezielte Abreicherung von mit Phosphor überversorgten Böden gelegt werden. Wir empfehlen dort, parzellenspezifisch unter vermehrter Berücksichtigung der Versorgungsgrade der Böden zu düngen (keine volle Anrechnung des P-Bedarfs der Kulturen für die Düngung bei P-Übersorgung der Böden). Ebenfalls zu prüfen ist der Umbruch und die Neuansaat stark überversorger Dauergraslandparzellen, damit der Phosphor, der sich in den obersten Zentimetern des Bodens angereichert hat, besser im Oberboden verteilt wird (Schärer 2003). Dabei muss jedoch eine sorgfältige Risikoabwägung vorgenommen werden und zusätzliche Erosion und Nitratauswaschung in der Umbruch- und Wiederestablierungsphase müssen vermieden werden.

In den stark mit Phosphor belasteten Gebieten ist die hohe Dichte von Tieren auf kleiner Fläche die eigentliche Ursache der P-Überschüsse. Seit den 1960er Jahren wurde den Landwirtinnen und Landwirten dieser Regionen die innere Aufstockung aus Gründen der Wirtschaftlichkeit empfohlen. Nachdem sie dieser Empfehlung nachgekommen sind, zeigen sich nun die daraus resultierenden Umweltprobleme. Diese können kurzfristig mit technischen Massnahmen (Hofdüngeraufbereitung, Abnahmeverträge, usw.) angegangen werden. Solche Massnahmen betrachten wir jedoch nicht als nachhaltig; mittel- bis langfristig müssten die Tierzahlen reduziert werden. Mit der Forderung der inneren Aufstockung hat die Agrarpolitik Verantwortung übernommen und muss nun sozialverträgliche Alternativen entwickeln.

Fazit

Insgesamt konstatieren wir eine positive Wirkung des ÖLN bezüglich der P-Verluste, auch wenn das Ziel einer 50 %-igen Reduktion nicht erreicht werden wird. Jährlich fällt ein nationaler P-Bilanzüberschuss von 6'000 t P an, obwohl die betrieblichen Nährstoffbilanzen eigentlich ausgeglichen sein sollten. Um diese Diskrepanz zu reduzieren und die P-Verluste aus der Landwirtschaft weiter zu vermindern, muss an den gegenwärtigen Anforderungen an die P-Bewirtschaftung im ÖLN festgehalten werden, die Anforderungen sind punktuell zu verschärfen, die Anstrengungen von Beratung und Kontrolle müssen intensiviert werden und in Problemgebieten muss der ÖLN durch wirksame Projekte nach Art. 62a GSchG verstärkt werden. Bei der Anwendung von zusätzlichen Massnahmen zur Erfüllung der bis heute noch nicht erreichten ökologischen Ziele besteht jedoch ein Zielkonflikt bezüglich der Wirtschaftlichkeit der landwirtschaftlichen Produktion. Über die heutigen Anforderungen des ÖLN hinausgehende Massnahmen sind deshalb bezüglich Kosteneffizienz zu prüfen und zu priorisieren.

Evaluations- und Forschungsbedarf

Evaluations- und Abklärungsbedarf

Es besteht wie oben beschrieben eine offensichtliche Diskrepanz zwischen der Tatsache, dass praktisch alle schweizerischen Landwirtschaftsbetriebe im Rahmen des ÖLN eine ausgeglichene P-Bilanz («Suisse-Bilanz») ausweisen müssen und dem Überschuss der nationalen P-Bilanz von mehreren tausend Tonnen Phosphor. Die Ursachen für diesen Widerspruch sollten abgeklärt werden. Einerseits ist die «Suisse-Bilanz» konzeptionell zu überprüfen, z. B. bezüglich der verschiedenen, kumulativ nutzbaren Toleranzen, und andererseits sollten für exemplarische Landwirtschaftsbetriebe mit unterschiedlicher Produktionsausrichtung Nährstoffbilanzen nach «Suisse-Bilanz» und klassischen Bilanzansätzen (z.B. Hoftorbilanz) gerechnet und die resultierenden Bilanzsaldi verglichen werden. Auf der Seite der nationalen P-Bilanz sollte der Fehlerbereich des Bilanzsaldos abgeschätzt werden, um das Ausmass der Abweichung von einer ausgeglichenen nationalen P-Bilanz zuverlässiger bewerten zu können. Aufgrund der Ergebnisse dieser methodischen Abklärungen könnte gegebenenfalls die «Suisse-Bilanz» optimiert werden oder es könnten alternative einzelbetriebliche Bilanzierungsansätze gewählt werden.

Die Evaluationsprojekte des Bundes laufen in ihrer jetzigen Form aus. Im Rahmen der Agrar-Umweltindikatoren (BLW 2002) wird die nationale P-Bilanz weiterhin nach der bisherigen sowie der OECD-Methode gerechnet und jährlich verfügbar sein. Das BUWAL wird die Messreihen der Nationalen Daueruntersuchung der schweizerischen Fliessgewässer (NADUF) ebenfalls fortsetzen. Ein Indikator zum P-Gehalt der Seen auf der Grundlage bestehender nationaler und kantonaler Datenreihen ist vorgesehen. In Diskussion sind zudem Indikatoren zum Monitoring von Erosionsrisiko und P-Gehalt der landwirtschaftlichen Böden (Gaillard *et al.* 2003). Die FAL wird die Fallstudie Frienisberg (Kapitel 12) bis mindestens 2007 weiterführen, um eine Zeitreihe von Erosionskartierungen zu erstellen, die ausreichend lang ist, damit der Effekt von Bewirtschaftungsmassnahmen vom Einfluss der jährlichen Witterungsbedingungen unterschieden werden kann. Das Gebiet würde zudem als Referenzstandort für den möglicherweise zu entwickelnden Agrar-Umweltindikator zum Erosionsrisiko dienen. Im Fallstudiengebiet Lippenrütibach plant die FAL weitere gezielte Untersuchungen zur Dynamik von Phosphor in stark belasteten Regionen.

Es fehlen repräsentative Angaben zum Umfang und zur Bedeutung und zeitlichen Entwicklung von produktionstechnischen Massnahmen (z.B. Bodenbearbeitungssysteme, gedünkte Nährstoffmengen, Fruchfolgen, Anteile von Ökofutter in der Tierhaltung) in der schweizerischen Landwirtschaft. Kenntnisse über die Entwicklung der Produktionstechnik sind unabdingbar für die Interpretation von Veränderungen der ökologischen Auswirkungen des Landwirtschaftssektors. Ein Teil dieser Angaben wird voraussichtlich im Rahmen des Projektes «Zentrale Auswertung einzelbetrieblicher Ökobilanzen» (Pfefferli *et al.* 2001) erhoben werden.

Forschungsbedarf

Forschungsbedarf im Bereich ÖLN und landwirtschaftlichem Stickstoffhaushalt sehen wir in folgenden Bereichen:

- Aufgrund der hohen P-Vorräte in den landwirtschaftlich genutzten Böden in tierstarken Regionen ist absehbar, dass die P-Problematik in den Mittellandseen kurzfristig nicht gelöst werden kann. Im Rahmen von anwendungsorientierter Forschung wäre zu prüfen, welche Massnahmen zur Abreicherung der Böden oder zur Durchmischung der Oberböden getroffen werden können, ohne dass andere unerwünschte Umwelteffekte auftreten. Ebenfalls im Sinne einer vorübergehenden Symptombekämpfung sind effiziente Methoden der Hofdüngeraufbereitung, wenn möglich gekoppelt mit Energiegewinnung (Biogas), zu entwickeln. In Form der dabei entstehenden transportfähigen Düngerprodukte kann so ein Teil der in tierstarken Regionen anfallenden Nährstoffe weggeführt werden.

- Mittel- bis langfristig können die Probleme der stark belasteten Regionen jedoch nur nachhaltig gelöst werden, indem dort die Tierzahlen reduziert werden. Dafür müssen sozialverträgliche und wirtschaftlich tragbare Alternativen entwickelt werden, welche die Problematik im Rahmen der ländlichen Entwicklung angehen. Um solche Alternativen zu erarbeiten, sind interdisziplinäre Forschungsprojekte notwendig.
- Über die möglichen Auswirkungen des biologischen Landbaus auf den P-Kreislauf und die P-Verluste (Abschwemmung, Erosion) ist kaum etwas bekannt (Auerswald *et al.* 2003). Diese Zusammenhänge sollten im Vergleich zu anderen Anbausystemen erforscht werden.
- Konservierende Bodenbearbeitung ist zweifellos ein wertvoller Beitrag zur Minderung der Erosion. Es gibt aber nach wie vor ungelöste Probleme im Bereich der Unkrautbekämpfung und der Pflanzenkrankheiten (z.B. Fusarien), welche die Anwendbarkeit dieser Massnahmen einschränken. Entsprechende Forschungsanstrengungen können dazu beitragen, die Bedeutung dieser Einschränkungen abzuschätzen und konservierende Bodenbearbeitungssysteme zu optimieren.
- Eine Frage für die Grundlagenforschung resultiert aus der Beobachtung, dass sich die P-Dynamik im Lippenrütibach seit 2000 stark verändert hat (Lazzarotto *et al.* 2005). Die übliche Beziehung zwischen Abfluss und P-Konzentration bei Hochwässern existiert nicht mehr, dafür gibt es ausserordentlich hohe P-Konzentrationen bei Basisabfluss in der Vegetationsperiode. Außerdem treten in dieser Periode neuerdings starke tägliche Schwankungen der P- und N-Konzentrationen auf. Diese Dynamik konnte auch in einem anderen Zufluss zum Sempachersee beobachtet, aber nicht hinreichend erklärt werden (Müller *et al.* 2003). Die Untersuchung dieses Phänomens könnte zu einem besseren Prozessverständnis der P-Verluste aus landwirtschaftlichen Böden, insbesondere bezüglich der Bedeutung von Einflussfaktoren wie Bodeneigenschaften (Boden Typ etc.), P-Gehalt des Bodens und P-Fraktionen beitragen.

Somit gibt es zu Phosphor sowohl anwendungs- als auch grundlagenorientierten Forschungsbedarf. Darüber hinaus stellt sich – wie beim Stickstoff – die Frage nach der Optimierung des landwirtschaftlichen Betriebssystems bei Zielkonflikten. Zielkonflikte gibt es beispielsweise bei der reduzierten Bodenbearbeitung, die zwar positive Auswirkungen auf den Bodenschutz hat, jedoch zu verstärktem Krankheits- und Unkrautdruck führen kann. Ein anderes Beispiel ist die Gülleausbringung. Zur Verhinderung von P-Abschwemmung muss die Gülle bei trockener Witterung ausgebracht werden, während für die Reduktion der Ammoniak-Verluste feuchte Witterung und leichte Niederschläge besser wären. Bei der Lösung der P-Problematik muss der Tatsache Rechnung getragen werden, dass landwirtschaftliche Betriebe komplex sind und Massnahmen meist auf mehrere Bereiche wirken. Bei einer Abwägung von Vor- und Nachteilen brauchen die Betriebsleitenden Unterstützung im Umgang mit Zielkonflikten.

Literatur

- Auerswald K., Kainz M. und Fiener P., 2003. Soil erosion potential of organic versus conventional farming evaluated by USLE modelling of cropping statistics for agricultural districts in Bavaria. *Soil Use and Management* 19, 305–311.
- BLW, 1999. Evaluation der Ökomassnahmen und Tierhaltungsprogramme, Konzeptbericht. Bern, Bundesamt für Landwirtschaft.
- BLW, 2002. Entwicklung von Agrar-Umweltindikatoren und Monitoring. Bern, Bundesamt für Landwirtschaft. <http://www.blw.admin.ch/rubriken/00690/index.html?lang=de>
- BLW, 2004. Agrarbericht. Bern, Bundesamt für Landwirtschaft.
- BLW/BUWAL, 1994. Wegleitung für den Gewässerschutz in der Landwirtschaft. Bern, Bundesamt für Landwirtschaft und Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft.
- Bundesblatt, 2002. Botschaft zur Weiterentwicklung der Agrarpolitik (Agrarpolitik 2007). Bundeskanzlei, BBL V (02.046), 4721–5010.

- Bundesrat, 1998a. Verordnung über die Direktzahlungen an die Landwirtschaft, Stand vom 30.12.2003. Bern, SR 910.13.
- Bundesrat, 1998b. Gewässerschutzverordnung. Bern, SR 814.201.
- Bundesrat, 1998c. Verordnung über Belastungen des Bodens. Bern, SR 814.12.
- Bundesversammlung, 1991. Bundesgesetz über den Schutz der Gewässer. Bern, SR 814.20.
- Frossard E., Julien P., Neyroud J.-A., und Sinaj S., 2004. Phosphor in Böden, Düngern, Kulturen und Umwelt – Situation in der Schweiz. Schriftenreihe Umwelt Nr. 368. Bern, Bundesamt für Umwelt Wald und Landschaft.
- Gaillard G., Daniel O., Desaules A., Flisch R., Herzog F., Hofer G., Jeanneret P., Nemecek T., Oberholzer H., Prasuhn V., Ramsauer M., Richner W., Schüpbach B., Spiess E., Vonarburg U.-P., Walter T. und Weisskopf P., 2003. Agrar-Umweltindikatoren: Machbarkeitsstudie für die Umsetzung in der Schweiz. Schriftenreihe der FAL 47.
- Hausheer J., Rogger C., Schaffner D., Keller L., Freyer B., Mulhauser G., Hilfiker J. und Zimmermann A., 1998. Ökologische und produktionstechnische Entwicklung landwirtschaftlicher Pilotbetriebe 1991 bis 1996 – Schlussbericht der Nationalen Projektgruppe Öko-Pilotbetriebe. Eidg. Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik (FAT), Tänikon. 170 S.
- Herzog F., Dreier S., Hofer G., Marfurt C., Schüpbach B., Spiess M. und Walter T., 2005. Effect of ecological compensation areas on floristic and breeding bird diversity in Swiss agricultural landscapes. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 108 (3), 189–204.
- Julien P., Niggli T. und Vorlet L., 2002. Beobachtungsperimeter ökologischer Massnahmen in der Landwirtschaft. Landwirtschaftliches Institut Grangeneuve und Amt für Umweltschutz des Kantons Fribourg.
- Kanton Luzern, 2002. Verordnung über die Verminderung der Phosphorbelastung des Mittellandseen durch die Landwirtschaft. <http://www.lawa.lu.ch/verordnung703a.pdf>
- Lazzarotto P., Prasuhn V., Butscher E., Crespi C., Flühler H. und Stamm C., 2005. Phosphorus export dynamics from two Swiss grassland catchments. *Journal of Hydrology* Vol. 304, 139–150.
- Müller B., Reinhardt M. und Gächter R., 2003. High temporal resolution monitoring of inorganic nitrogen load in drainage waters. *Journal of Environmental Monitoring* 5, 1–7.
- Persönliche Mitteilung, 2004. Thomas Anken, Agroscope FAT Tänikon, Eidg. Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik, Tänikon.
- Pfefferli S., Grar M., Nemecek T. und Gaillard G., 2001. Monitoring und Management der potenziellen Umweltwirkungen der Landwirtschaft. Machbarkeitsstudie zur zentralen Auswertung einzelbetrieblicher Ökobilanzen. Agroscope FAT Tänikon.
- Prasuhn V., Herzog F., Schärer M., Frossard E., Flühler H., Flury C. und Zgraggen K., 2004. Stoffflüsse im Greifenseegebiet: Phosphor und Stickstoff. *Agrarforschung* 11 (10), 440–445.
- Schärer M., 2003. The influence of processes controlling phosphorus availability on phosphorus losses in grassland soils. Diss 15312 ETHZ. 140 S.
- Swiss No-Till, 2005. <http://www.no-till.ch>